

文章编号:1000-4653(2017)02-0056-04

基于小波分析的船舶领域与其影响因素变化关系

周 丹, 郑中义

(大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026)

摘 要:为研究开阔水域中船舶领域与船舶领域影响因素之间的变化关系,应用小波分析算法,以渤海和黄海北部水域船舶自动识别系统数据为基础,应用 MATLAB 中的小波工具箱对船舶领域及船舶领域影响因素进行小波变换,得到不同影响因素值下的船舶领域。结果表明:船舶领域随船舶大小、速度的增大而增大,随会遇角度的增大而减小,随其他影响因素变化的规律不明显。

关键词:水路运输;船舶领域;影响因素;小波分析

中图分类号:U676.1

文献标志码:A

Changes of Ship Domain and its Influencing Factors Based on Wavelete Analysis Theory

ZHOU Dan, ZHENG Zhongyi

(Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: The wavelet transform is introduced to reveal the relationship between the dimension of ship domain and the influence factors. The Automatic Identification System (AIS) data from Bohai Sea and north Yellow Sea (China) are processed with the MATLAB wavelet toolbox to find the dimension changes of a ship domain against the variation of the inference factors. The analysis shows that the ship domain increases as ship size/speed increases, decreases as the encounter angle increases, while it seems uncorrelated with other factors.

Key words: waterway transportation; ship domain; influence factor; wavelet transform

船舶领域受很多不确定性因素的影响。文献[1]和文献[2]以实船数据为基础,通过试验统计部分影响因素对船舶领域的影响,其中:文献[1]得到大船的领域尺度及通常航行条件下被追越船的领域尺度和狭窄水域的领域尺度;文献[2]得到4个不同类型海域内的船舶领域尺度和某密度下的船舶领域尺度。文献[3]~文献[5]分别考虑特殊的水流条件、空间有限的桥区水域和拥挤水域,主要对船舶领域与船舶大小和速度的关系进行分析,得到相关的解析表达式。文献[6]从避碰实际出发,在考虑船舶大小和速度与船舶安全通过距离的关系的同时,考虑会遇局面,量化船舶领域的边界。基于智能技术^[7-10]的方法均将某些影响因素作为输入,将船舶领域作为输出,通过智能方法得到输入与输出之

间的关系。

船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)数据以其可提供水域内全部船舶详细动态信息的特性被应用于船舶领域的研究中。^[11-13]在实际的数据中,不同影响因素值下的船舶领域具有随机性,合理利用数据确定不同影响因素值下的船舶领域较为重要。这里以渤海湾水域的 AIS 数据为基础,引入小波分析理论对样本数据进行小波分析,得到不同影响因素值下的船舶领域,发现相互间的变化规律。

1 小波变换

小波分析方法是一种同时从时域和频域揭示时间序列局部特性的方法,其因具有多时间尺度变化

收稿日期:2017-02-11

基金项目:国家自然科学基金(51409033)

作者简介:周 丹(1988—),女,辽宁鞍山人,博士生,从事海上交通安全研究。E-mail:wwwzhoudan88@126.com

郑中义(1966—),男,河北安国人,教授,博士生导师,博士,从事海上交通安全保障与防护技术研究。

E-mail:dizzyi@sina.com

特性和非平稳特性而使得在选择合适的尺度大小时能较清晰地揭示船舶领域和影响因素属性值的变化趋势,从而得到船舶领域与船舶领域影响因素之间的关系。

连续小波变换是指对于选定的小波函数 $\psi(t)$, 任意函数 $f(t) \in L^2(R)$ 满足

$$W_f(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \bar{\psi}[(t-b)/a] dt \quad (1)$$

式(1)中: $W_f(a, b)$ 为小波(变换)系数; a 为尺度因子, 决定小波的周期大小; b 为时间因子, 可在不同 a 决定的尺度下在时间轴上平移。^[14]

小波变换将任意函数表示为一系列不同尺度和不同时间移的小波函数线性组合, 其在高频(小尺度)上的分量表示样本序列的细节特征, 在低频(大尺度)上的分量表示信号的整体变化特征。

2 数据

2.1 数据来源

目前 AIS 数据已成为船舶领域研究常用的数据来源, 这里选取 2014 年 9 月 26 日至 10 月 13 日的 AIS 数据作为数据来源, 其范围见图 1。

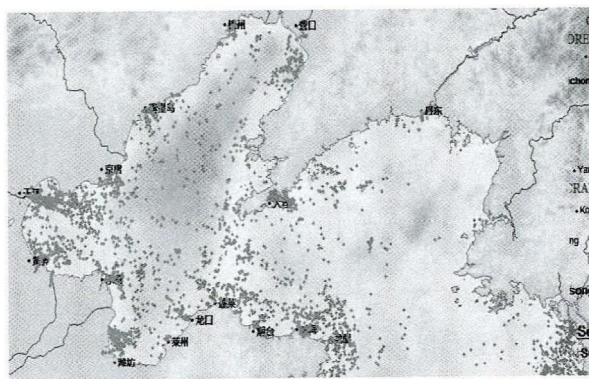


图 1 数据来源范围

2.2 船舶领域

2.2.1 船舶领域样本的选取

根据文献[1]和文献[2]对船舶领域的定义, 将船舶领域理解为驾驶员为保证航行安全所保持的船舶最小安全会遇距离, 其中一种具体体现为采取避碰措施的船舶与中心船舶实际通过的最近会遇距离, 设为 d 。假设一个密度均匀的船舶交通流在与某船会遇时, 该船采取相应的避碰措施, 其避碰运动见图 2。在中心船 O 周围同一方向 RB_i 上, 船 O_1 的转向幅度必大于船 O_2 和船 O_3 , 船 O_1 与中心船的通过距离为 d 处的船舶密度增大最多, 为船舶密度最大处, 与文献[1]中定义的领域边界相吻合。因此,

以 d 作为船舶领域影响因素分析的领域样本。

2.2.2 船舶领域样本的获取

船舶领域样本的获取流程见图 3, 其中: 5 000 m 与 3 000 m 的选择参考文献[10]; 4.5 n mile 的选择参考文献[15], 绝大多数会遇船舶在 4.5 n mile 时没有采取避碰行动; 20 s 的选择是假设船舶航速为 14 kn 时, 计算得到 20 s 航行的距离仅为 144 m, 误差在可接受的范围内, 且 AIS 数据的时间间隔随航速的增大和船舶的转向而减小, 即使存在数据丢失, 也在可接受的范围内。

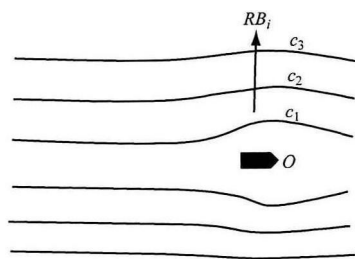


图 2 船舶避碰运动

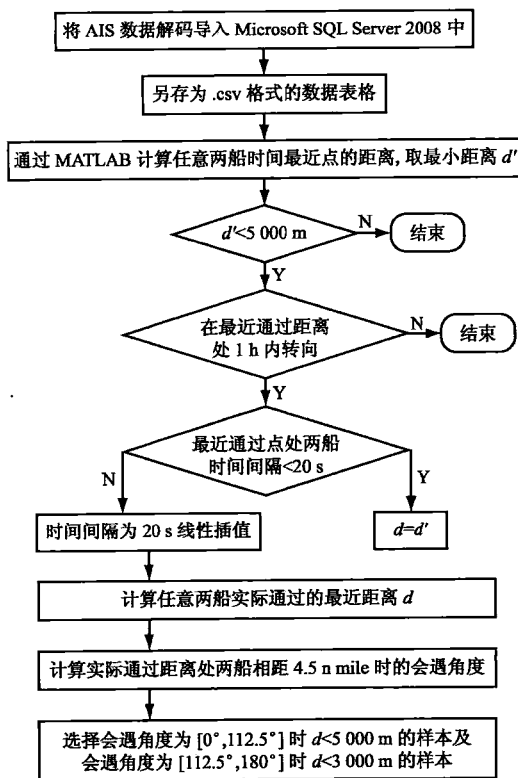


图 3 船舶领域样本的获取流程

判断转向的方法为: 取任意船舶航迹上的时间间隔分别为 300 s 和 900 s 的点, 计算相邻 3 点中第 1 点、第 2 点与第 3 点连线的夹角。图 4 为船舶转向角度, 其中 $\angle AOB$ 即为判断是否转向的夹角。若 $\angle AOB \geq 10^\circ$, 则认为船舶转向, 且此时转向船舶转向行为必考虑到与其通过距离 $< 5\,000$ m 的船舶。

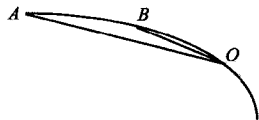


图4 船舶转向角度

在选取样本的过程中,虽然不能保证挑选出全部的样本,但能保证选择的样本均为目标样本。通过计算,选择的样本数据为2 023组。

2.2.3 船舶领域的度量

为比较船舶领域样本的大小,将样本中中心船周围不同方位上的领域大小转换为相同方位上的领域大小。设船舶领域任意方位 β 上的边界到中心船的距离为 d_β ,艏部扇区长为 l ,中心船舶部方向为 0° ,艏部方向为 180° ,左右对称。由于研究的水域为开阔水域,因此参考文献[2]开阔水域船舶领域模型中 d_β 与 l 的关系,设任意船舶领域样本均满足

$$l = \begin{cases} \frac{9}{14}d_\beta, & 0^\circ \leq \beta \leq 112.5^\circ \\ d_\beta, & 112.5^\circ < \beta \leq 180^\circ \end{cases} \quad (2)$$

2.3 船舶领域影响因素

船舶领域影响因素主要可分为人、船、环境和管理等4类,其中管理因素在所选水域范围内的差异很小,不予考虑。针对数据来源水域的特点,参考文献[10],选择开阔水域互见中影响船舶领域的因素(包括速度、船舶大小、会遇角度、船舶类型、驾驶员级别和密度)作为研究对象。船舶领域影响因素的度量方式见表1。

表1 船舶领域影响因素的度量方式

因素	度量方式
船舶大小/m	常规长度度量
速度/kn	常规船舶速度度量
船舶类型	随机对船舶类型取值为整数
会遇角度/($^\circ$)	会遇角度为左右对称 $0^\circ \sim 180^\circ$
密度	按照水域不同范围的密度大小划分为4个区域,密度由小到大分别为1,2,3,4
人	按照驾驶员级别,三副、二副、大副分别为1,2,3

3 船舶领域与其影响因素的小波分析

将2023组样本数据中避让船舶与中心船舶通过的距离 d_β 转化为 l ,并按速度由小到大排序,转换为船舶领域一维图形,得到类似于时间序列的船舶

领域样本序列。利用MATLAB中的小波工具箱对船舶领域样本序列选择Haar小波进行7层分解,得到的结果见图5。

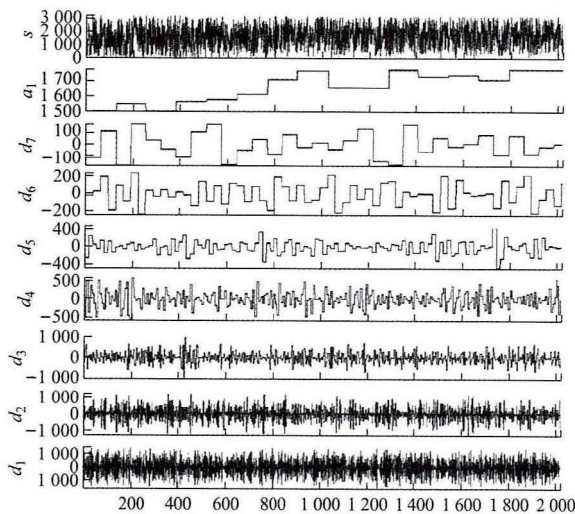
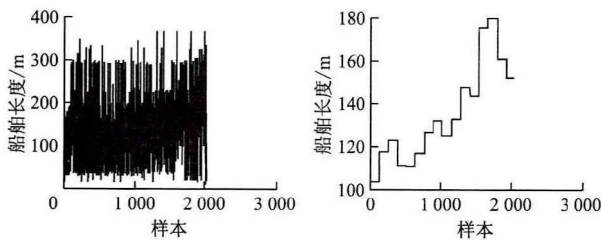


图5 船舶领域小波分解结果

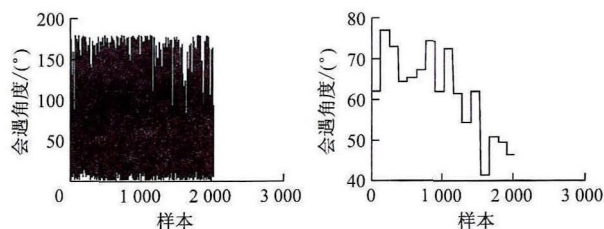
图5中: s 为原始船舶领域大小一维序列图形; a_1 为低频分量,低频小波是对船舶领域大小变化概况的描述,反映船舶领域大小整体变化趋势; d_1, d_2, \dots, d_6 为船舶领域大小在每层上的高频分量,高频部分为信号快变部分,表示信号的细节变化。由 a_1 可知,虽然船舶领域随速度的变大局部有一定波动,但整体上呈逐渐增大的趋势。

根据需要,在研究船舶领域与船舶领域影响因素之间的变化关系时,只需考虑与船舶领域低频分量对应的影响因素低频分量。类似地,将各影响因素的属性值大小序列转换为一维图形,属性值大小序列与船舶领域大小序列一一对应。同样选择Haar小波进行7层分解,得到的影响因素低频分量结果见图6~图11。



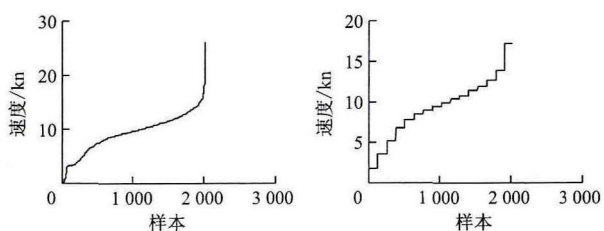
a) 船舶长度原始信号 b) 船舶长度小波分解低频分量
图6 船舶大小原始信号与小波分解低频分量

为更直观地比较船舶领域大小与各影响因素之间的变换规律,选择min-max标准化方法对船舶领域低频分量与各影响因素的低频分量进行归一化处理。min-max标准化也称离差标准化,是对原始数据的线性变换,使结果映射到0~1上。转换函数为



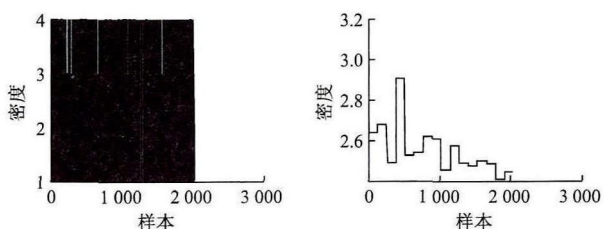
a) 会遇角度原始信号 b) 会遇角度小波分解低频分量

图7 会遇角度原始信号与小波分解低频分量



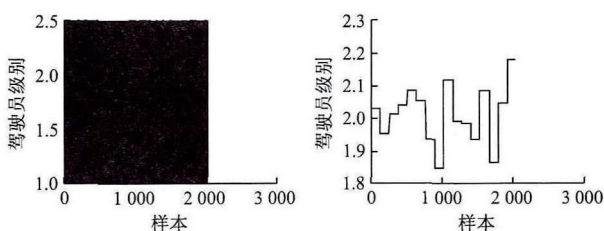
a) 速度原始信号 b) 速度小波分解低频分量

图8 速度原始信号与小波分解低频分量



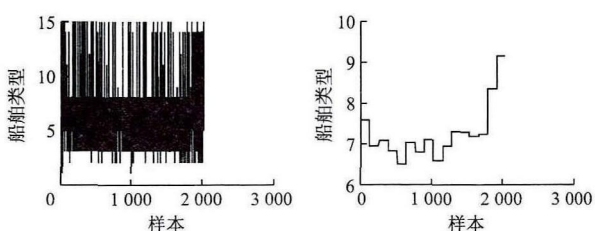
a) 密度原始信号 b) 密度小波分解低频分量

图9 密度原始信号与小波分解低频分量



a) 驾驶员级别原始信号 b) 驾驶员级别小波分解低频分量

图10 驾驶员级别原始信号与小波分解低频分量



a) 船舶类型原始信号 b) 船舶类型小波分解低频分量

图11 船舶类型原始信号与小波分解低频分量

$$x^* = (x - n_{\min}) / (n_{\max} - n_{\min}) \quad (3)$$

式(3)中: n_{\max} 为样本数据的最大值; n_{\min} 为样本数据的最小值。归一化处理后的影响因素与船舶领域的关系见图12。

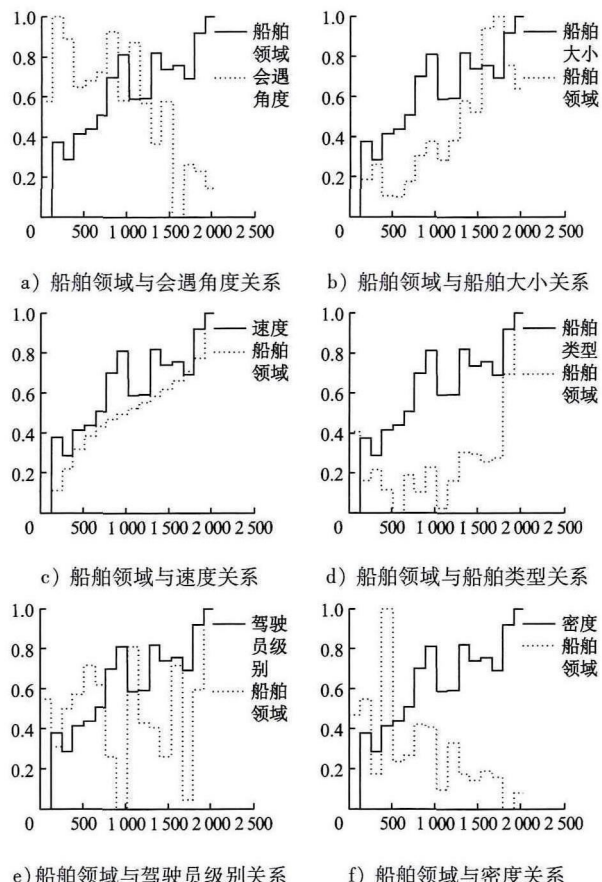


图12 归一化处理的船舶领域与影响因素的关系

由图12可知:船舶领域变化与速度、船舶大小及会遇角度变化的相关性最强,而与密度、驾驶员级别及船舶类型变化的相关性较小,且随船舶大小、速度的增大整体上呈较明显的增大趋势,随会遇角度的增大呈较明显的减小趋势(局部会有一定的波动),随密度、驾驶员级别和船舶类型的变化没有明显的规律。

4 结束语

利用小波分析算法对船舶领域及其影响因素进行分析,能从大量的数据中较好地揭示其变化规律。采用的船舶领域样本选择和度量方法满足对船舶领域与其影响因素的变化关系研究,样本数量满足统计分析的要求。虽然船舶领域影响因素对船舶领域有影响,但在不同影响因素的共同作用下,其变化与速度、船舶大小和会遇角度变化的规律性最明显,说明速度、船舶大小和会遇角度对船舶领域的影响最大。

参考文献

- [1] FUJII Y, TANAKA K. Traffic Capacity[J]. Journal of Navigation, 1971, 24(4):543-552.

(下转第64页)

表 5 航速控制边界值

航段	航速控制/kn	建议航速/kn
PA	8~10	8~10
AB	7~8	8
BC	5~6	5

5 结束语

通过分析得到水深适应性结论:董家口港航道长 18.6 n mile,航道设计底标高 -23.2 m,40 万 t 船舶抵港最大吃水 22.8 m,若航速控制在边界值以内,则航道水深适应 40 万 t 船舶满载进港,乘潮保证率达 90%。

该富余水深应用方法以《规范》作为参考取值,对其他理论取值法或经验取值法同样适用。研究结果对超大型船舶受限水域安全航行关键指标的确定具有重要意义。

参 考 文 献

[1] 戴涛,何志水. VLOC 船舶航行在浅水域中的富余水深[J]. 航海技术, 2014(2):8-11.

[2] 吴卫兵,谢黎明. 富余水深的 2 种确定算法[J]. 航海技术, 2014(4):37-38.

[3] 洪碧光,于洋. 船舶在浅水中航行下沉量的计算方法[J]. 大连海事大学学报(自然科学版), 2003, 29(2):1-5.

[4] 刘敬贤,高纬杰. 基于大风浪影响的船舶安全通航水深计算方法[J]. 交通标准化,2009(1):92-95.

[5] 徐言民,晏林,许鹏,等. 渤海海域超大型船舶安全航速限定标准研究[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(1):95-100.

[6] 肖潇,邵哲平,纪贤标,等. 基于 AIS 信息的船舶进出港航速控制模型[J]. 上海海事大学学报, 2014(4):11-14.

[7] 曲径,韩晓宝,陈伟. 渤海超大型油轮安全保障研究[J]. 中国航海, 2010, 33(2):51-55.

[8] BRIGGS M J, SILVER A W L, KOPP P J. Probabilistic Model for Predicting Ship Under Keel Clearance: Field and Laboratory Validation[J]. Coastal Engineering Journal, 2014, 56(2):107-108.

[9] SZYCA G. Comprehensive Methods of the Minimum Safe Under Keel Clearance Valuation to the Restricted Tidal Waters[J]. Transnav the International Journal on Marine Navigation & Safety of Sea Transportation, 2012(6): 63-68.

[10] BRIGGS M J, KOPP P J, SILVER A L, et al. Probabilistic Model for Predicting Deep-Draught Channel Design: Savannah, GA Entrance Channel[J]. Ocean Engineering, 2015, 108:276-286.

[11] 交通运输部. 海港总体设计规范:JTS 165—2013[S].

[12] 郭国平,王红兵. 超大型油轮过马鞭洲航道时安全航速的探讨[J]. 中国水运(学术版), 2006(6):38-40.

(上接第 59 页)

[2] GOODWIN E M. A Statistical Study of Ship Domains[J]. Journal of Navigation, 1975, 28:329-341.

[3] 范贤华,张庆年,周锋,等. 水流条件下内河船舶领域模型[J]. 大连海事大学学报,2013,39(1):46-48.

[4] 徐周华,牟军敏,季永清. 内河水域船舶领域三维模型的研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2004,28(3):380-383.

[5] 贾传茨. 拥挤水域内船舶领域的探讨[J]. 大连海事大学学报, 1989,15(4): 15-19.

[6] 郭志新. 船舶领域边界的量化分析[J]. 武汉造船, 2001(S1):63-64.

[7] PIETRZYKOWSKI Z. Ships Fuzzy Domain-Acriterion for Navigational Safety in Narrow Fairways[J]. Journal of Navigation, 2008, 61(3): 499-514.

[8] ZHU X, XU H, LIN J. Domain and its Model Based on Neural Networks[J]. Journal of Navigation, 2001, 54(1): 97-103.

[9] WANG N. An Intelligent Spatial Collision Risk Based on

the Quaternion Ship Domain[J]. Journal of Navigation, 2010,63(4): 733-749.

[10] URIASZ Z P J. The Ship Domain-Acriterion of Navigational Safety Assessment in an Open Sea Area [J]. Journal of Navigation,2009,62(1):93-108.

[11] 向哲,胡勤友,施朝健,等. 基于 AIS 数据的受限水域船舶领域计算方法[J]. 交通运输工程学报,2015,15(5):110-117.

[12] HANSEN M G, JENSEN T K, LEHN-SCHIØLER T. Empirical Ship Domain Based on AIS Data[J]. Journal of Navigation, 2013, 66: 931-940.

[13] LIU S M, WANG N, SHAO Z R, et al. A Novel Dynamic Quaternion Ship Domain [C]//Fifth International Conference on Intelligent Control and Information Processing, Dalian,2014:175-180.

[14] 牛东晓,邢棉. 时间序列的小波神经网络预测模型的研究[J]. 系统工程理论与实践,1999(5):89-92.

[15] 郑中义,吴兆麟. 船舶避碰的模糊决策[J]. 大连海事大学学报,1996,22(2):5-8.